

원수 탁도와 pH 변화가 혼화응집침전 과정에서 원생동물과 탁질 제거에 미치는 영향

The Effects of Turbidity and pH on the Removal of *Cryptosporidium* and *Giardia* by Coagulation Process

정현미* · 박상정

Chung, Hyen-Mi* · Sang-Jung Park

국립환경과학원

(2005년 10월 6일 논문 접수: 2006년 2월 9일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The removal of protozoa in the coagulation process was evaluated under the different pH and turbidity using the jar test after the addition of polyaluminium chloride (PAC) as a coagulant. Two well-known protozoa of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* were tested at the same time with turbidity, the critical water quality parameter of the water treatment process. Both protozoa were removed about 1log (and up to 2log) at the optimum injection of PAC.

The source water turbidity and pH affected the removal of protozoa and turbidity. At neutral and alkaline pH, 1.3-1.7log removal of protozoa for low turbid water with 5NTU, and 1.6-2.3log removal for high turbid water with 30NTU were achieved. However, at acidic pH, maximum 0.8-1.0log and 1.1-1.2log were removed for low and high turbid water, respectively, at the optimum PAC injection of 15mg/L.

The relation of protozoa and turbidity removals were expressed as the 1st order equation (significantly positive relation) in the most of the tested conditions. In addition, the relation of protozoan removals with residual turbidity were also expressed the 1st order equation (significantly negative relation), although the significance of the equations were reduced at acidic pH. Therefore, residual turbidity could be a good index of efficient protozoan removal in the coagulation process, probably except at the low pH condition.

Key words: *Cryptosporidium* oocyst, *Giardia* cyst, turbidity, pH, coagulation, water treatment

주제어: 혼화응집, 크립토스포리디움, 지아디아, 탁질제거, pH영향

*Corresponding author Tel: 82-32-560-7311, FAX: +82-32-568-2053, E-mail: hyenmic05@hotmail.com (Chung, H.M.)

1. 서 론

정수처리의 기원은 장티푸스 콜레라 등 세균에 의한 수인성 전염병의 방지에서부터 시작되어 관리기술과 위생수준의 향상 등으로 인하여 공공급수를 통한 수인성 질병은 크게 감소하였다. 그러나 예외적인 경우이긴 하지만 공공급수를 통한 발병이 아직도 보고되고 있다. 특히 1980년대 말부터 지아디아와 크립토스포리디움 같은 원생동물에 의한 발병사례들이 영국, 미국, 일본 등 주요 선진국에서 보고되었는데, 이는 이들 원생동물이 염소소독에 저항성이 큰 포낭과 난포낭을 형성하는 특성에 기인한 바 크다. 이에 따라 이들 원생동물의 분석기술과 정수처리 및 관리기술에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 국내에서는 원생동물에 대한 처리 연구가 매우 한정되어 있고 특히 다양한 국내 환경영향에 대한 연구가 드문 실정이다(정현미 등, 2002).

원생동물은 기존 정수처리 공정에서 염소 소독에 의해 잘 죽지 않기 때문에 대체 소독기술의 개발과 더불어, 원생동물을 효과적으로 제어할 수 있는 여과공정의 효율에 대한 평가와 최적화가 매우 중요하다(WHO, 2002; USEPA, 2003). 여과공정에서의 효과적인 제거를 위해서는 화학적 전처리인 혼화응집공정의 최적화가 매우 중요하며(Dugan, et al., 2001; Betancourt and Rose, 2004), Emelko(2003)는 이중 및 삼중여재를 이용한 여과 실험에서 혼화응집과정이 불안정한 경우 안정한 상태와 비교하여 여과과정에서의 제거율이 현저히 저하되었음을 보고하였다. 크립토스포리디움 난포낭은 음성 전하를 띠고(Ongerth and Pecoraro, 1996; Rice et al., 1996), 감마선 조사된 난포낭의 pKa 값은 약 2.5로 알려져 있다(Karaman, et al., 1999). 제타전위(zeta potential)로도 표현하는 미생물 세포 표면의 전하는 혼화응집에 매우 중요한 요인으로서 수질, 응집제 종류와 투여량, pH, 수온 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받는다.

이에 따라 정수처리 단위 공정 중 화학적으로 중요한 첫 단계인 혼화응집(침전)에 의한 크립토스포리디움 난포낭과 지아디아 포낭 제거 특성을 jar test를 이용하여 연구하고자 하였으며, 본 논문에서는 다양한 원수수질과 환경과 운전 요인 중 원수 탁도와 수소이

온 농도의 영향을 정수처리운영 지표인 잔류 탁도와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 시료는 자연 건조한 하천 저니토나 하천수를 잔류염소를 제거한 수돗물에 현탁하여 일정 탁도로 조제하여 이용하였다.

혼화응집시험을 위하여 6개의 500mL 메스실린더에 일정 탁도로 조제한 시료를 400mL 정도 넣고 크립토스포리디움 및 지아디아 접종액 1mL를 각각의 시료에 접종한 후, 응집제를 농도별로 주입하여 최종 500mL 용량으로 시료를 채운 후 1L 비이커에 옮겨 Jar tester(Dong Yang science co., Korea)에서 급속 혼화하였다. 응집제는 폴리염화알루미늄(polyaluminum chloride, PAC)을 사용하였다. Jar test 조건은 130rpm에서 1분간 급속혼화, 35rpm에서 10분간 완속 혼화로 응집반응을 유도한 후 20분간 침전하는 방법으로 일정하게 수행하였으며 응집침전 전후의 원생동물, 탁도, pH 및 알칼리도를 측정하였다. 본 연구에서 수행된 실험조건은 Table 1에 나타내었다.

실험에는 살아있는 크립토스포리디움 난포낭(oocysts of *Cryptosporidium parvum*) 및 지아디아 포낭(cysts of *Giardia lamblia*) 배양액($10^7/8\text{mL}$, Waterborne Inc., USA)을 인산완충용액(phosphate buffered saline, 150mM, pH 7.2)에 희석하여 각 시료 당 원생동물 접종량이 1×10^5 cells 정도가 되도록 접종하였다. 배양액은 제조사의 권장기간 내에 사용하였다.

원생동물은 다음과 같은 방법으로 측정하였다. Jar test에서 침전 후 상등액 100mL를 정확하게 분취하여 원심분리(3,000rpm, 30분)한 후, 약 2mL를 제외한 상등액을 제거하고 증류수로 최종 8mL로 조정하였다. 전처리 시료 8mL 중 80 μL 를 슬라이드웰에 떨어뜨린 후 자연 건조시켜 크립토스포리디움 난포낭 및 지아디아 포낭에 대한 단일항체로 구성된 fluorescence isothiocyanate(FITC) 직접염색키트(Meridian Diagnostics, Inc.)와 4',6-diamidino-2-phenylindol(DAPI)용액(150mM PBS 50mL에 2mg/mL DAPI 10 μL 를 첨가하여 만든 1/5000 희석액)으로 형광염색을 한 후, 현미경(Axioplan, Carl Zeiss, Germany)으로 관찰, 계수하였다. FITC 형광염색은 Carl Zeiss사의

Table 1. The experimental conditions

	Target Microorganisms and an indicator	Conditions of Reactors		
		Turbidity (NTU)	pH*	PAC concentrations (mg/L)
Exp. 1	Turbidity	5, 10, 30, 50, 70	7.8	0, 10, 20, 30, 40, 50
Exp. 2	<i>Cryptosporidium Giardia</i>	5, 10, 30, 50, 70	7.8	0, 5, 15, 25, 35, 45
Exp. 3	<i>Cryptosporidium Giardia</i> Turbidity	5	6.0-6.5	0, 5, 15, 25, 35, 45
		5	7.0-7.1	0, 5, 15, 25, 35, 45
		5	7.9-8.0	0, 5, 15, 25, 35, 45
		30	6.0-6.4	0, 5, 15, 25, 35, 45
		30	6.7-7.3	0, 5, 15, 25, 35, 45
		30	7.7	0, 5, 15, 25, 35, 45

* Water pH before coagulation test

filterset 23 (excitation, DBP 485/20 + 546/12; beamsplitter, DFT 500 + 560; emission, DBP 515 ~ 530 + 580 ~ 630) 필터를, DAPI 형광염색은 Filterset 01 (excitation, BP 365/12; beamsplitter, FT 395; emission, LP 397) 필터를 사용하였다.

환경조건으로 원수 탁도와 수소이온농도의 영향을 보기 위해 탁도와 수소이온농도는 탁도계 (2100P, Hach Inc.)와 pH meter (twin pH, Horiba Inc.)로 측정하였고, 알칼리도는 시료 100mL를 비이커에 분취하여 지시약 (methyl red 0.02g, bromocresol green 0.1g을 95% ethyl alcohol로 100mL를 맞춤)을 2~3방울 떨어뜨린 후, 시료의 색이 청색에서 적자색으로 변할 때까지 0.2N H₂SO₄로 적정하여 적정량으로부터 알칼리도를 다음 계산식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{알칼리도 (CaCO}_3, \text{ mg/L)} = a \times f \times 1000 / \text{시료량}$$

$$(a = 0.2\text{N H}_2\text{SO}_4 \text{ 적정량}; f = 0.2\text{N H}_2\text{SO}_4 \text{ 역가})$$

응집제 투입량에 따른 제거율 곡선은 4개의 모델을 사용하였다. 응집제 투입량에 따라 제거율이 증가하여 최대점을 유지하는 데이터는 exponential rise to max (A)와 simple exponent with two parameter (C) equation을, 응집제 투입량에 따라 증가 후 감소하는 데이터는 Gaussian equation (B)과 Lorentzian 4 parameter (D)를 사용하였다. 각각의 공식은 다음과 같으며, 모델이 잘 맞는지 여부는 통계치리로 확인하였다 (data not shown).

$$F = a(1 - e^{-bx}) \quad (\text{A})$$

$$F = ae^{-0.5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2} \quad (\text{B})$$

$$F = a(1 - b^x) \quad (\text{C})$$

$$F = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2} \quad (\text{D})$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 원수 탁도의 영향

시료의 탁도가 5, 10, 30, 50, 70, 90 NTU인 시료를 저니토 및 하천수로 조제하여 응집제 PAC 농도에 따른 탁도 제거 실험을 하였다. Jar test 결과, 모든 시료는 20-25mg/L의 PAC 농도에서 침전 후 잔류탁도가 1 NTU 수준을 나타내었고 응집제 투입량이 많아질수록 잔류탁도가 감소하거나 오히려 증가하는 경우도 관찰되었다 (Fig. 1).

상기 탁도와 동일한 시료를 저니토와 하천수로 다시 조제하여 원생동물의 제거율을 측정하였을 때, 크립토포리디움과 지아디아 모두 탁도가 높은 시료에서는 10mg/L 이하의 소량의 PAC 농도에서도 잘 제거되었으며, 가장 저탁도인 5 NTU 시료에서는 응집제 농도가 15-25mg/L 범위에서 잘 제거되었다 (Fig. 2). 응집제 농도의 변화에 따른 원생동물과 탁도의 제거가 모두 30 NTU 이상의 탁도에서는 유사한 반면, 5 NTU에서는 제거율과 최적 PAC 요구량이 변화하여, 향후 실험에서는 저탁도 시료를 5 NTU로, 고

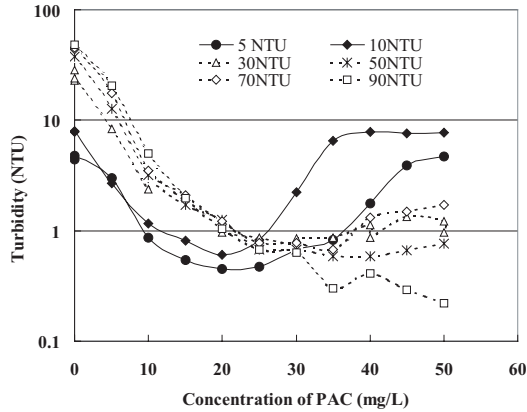


Fig. 1. Residual turbidities of jar tests after injecting different PAC concentrations (0-50mg/L) in the wide turbidity range (5-90NTU) of source water (at pH 7.8, room temp).

탁도 시료를 30 NTU로 고정하여 다른 환경인자의 영향을 실험하였다.

3.2. pH 영향

응집작용에 있어서 주요 요인인 pH가 탁도 및 원생동물의 혼화 응집에 미치는 영향을 조사하기 위하여 저니와 하천수로 조제한 5 NTU의 저탁도 시료와 30 NTU의 고탁도 시료를 pH를 조정하여 실험하였다. 저탁도 시료의 pH를 6, 7, 8로 조정하여 알칼리도를 측정하였을 때 알칼리도는 각각 9, 26, 38mg/L 이었고, PAC 투여 후에는 더욱 저하되어 PAC 45 mg/L을 투여했을 때 알칼리도는 각각 2, 19, 29 mg/L로 측정되었다. 알칼리도의 변화는 고탁도 시료

에서도 유사하게 나타났다.

응집제인 PAC 주입량의 변화에 따른 jar test 후의 잔류 탁도와 원생동물농도를 Fig. 3에 나타내었다. 시료의 pH에 상관없이 탁도와 두 원생동물, 크립토스포리디움과 지아디아는 PAC 15mg/L에서 가장 낮게 검출되었다. 그러나 pH 6으로 조정한 시료의 경우, 최적 주입량인 PAC 15 mg/L에서도 탁도와 원생동물의 잔류농도가 다른 pH에서보다 높았고, PAC 주입량이 15mg/L 이상으로 증가함에 따라 잔류 탁도가 증가하고, 원생동물의 잔류농도는 더욱 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 현상은 저탁도와 고탁도 시료 모두에서 나타났으므로, 응집 핵의 영향보다는 과다한 응집제 주입에 따른 알칼리도의 저하가 원인으로 사료되었다.

PAC 주입량에 따른 탁도와 원생동물의 제거율을 시료의 pH 별로 나타내었을 때 (Fig. 4), 시료의 pH가 6인 경우 저탁도 시료는 응집제 투여량 15mg/L의 최적 조건에서 각각 최대 85%와 89%의 크립토스포리디움과 지아디아 제거율과, 최대 78%의 탁도 제거율을 보였고, 고탁도 시료는 최적조건에서 모두 90% 이상의 제거율을 나타내었다. 시료 pH가 7 이상인 경우에 저탁도 시료는 최적조건에서 두 가지 원생동물이 93% 이상, 탁도가 90% 이상 제거되었고, 고탁도 시료는 원생동물과 탁도 모두가 98% 이상 제거되었다.

응집제가 산성을 유발하므로 응집제를 투여하면 알칼리도와 함께 pH가 저하된다. 따라서 응집제 투여 후의 pH에 대한 잔류탁도와 원생동물 제거 관계

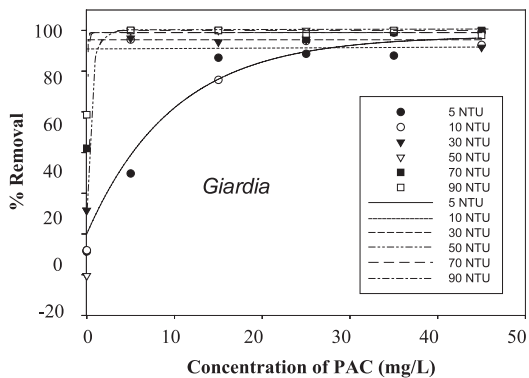
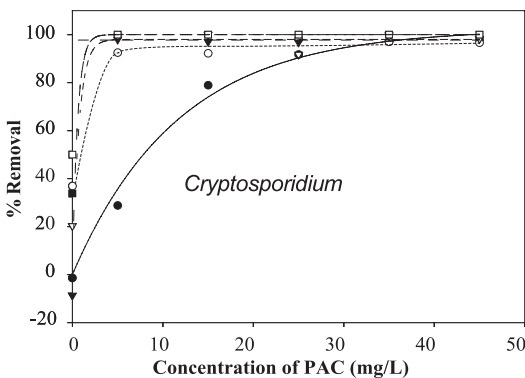


Fig. 2. The removal of Cryptosporidium and Giardia in jar test after injecting different PAC concentrations (0-45mg/L) in the wide turbidity range (5-90NTU) of source water (at pH 7.8, room temp).

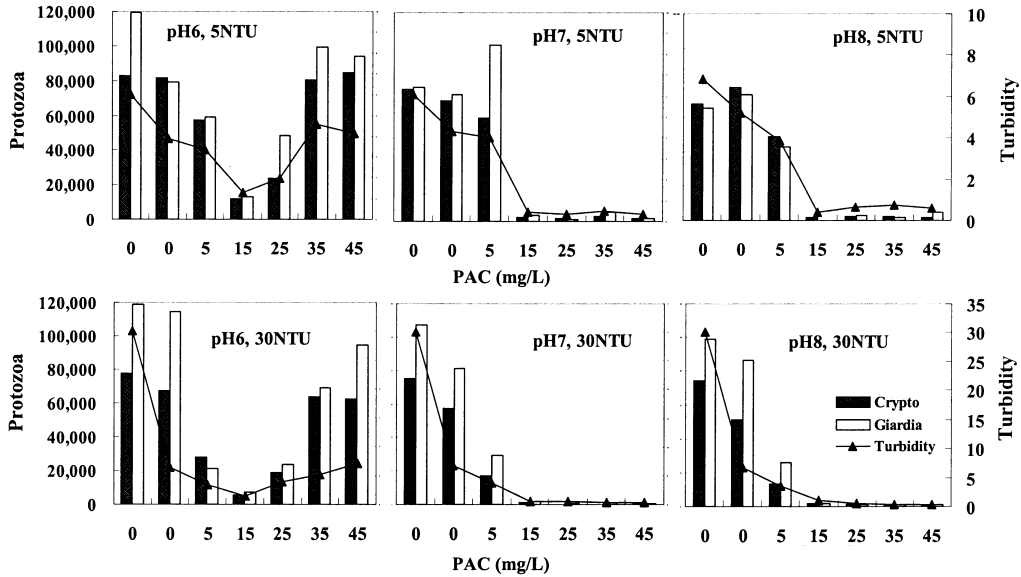


Fig. 3. Effect of initial pH and water turbidity on the residual turbidity, *Cryptosporidium* oocysts, and *Giardia* cysts of jar tests according to the PAC concentrations (I, inoculated number of protozoa).

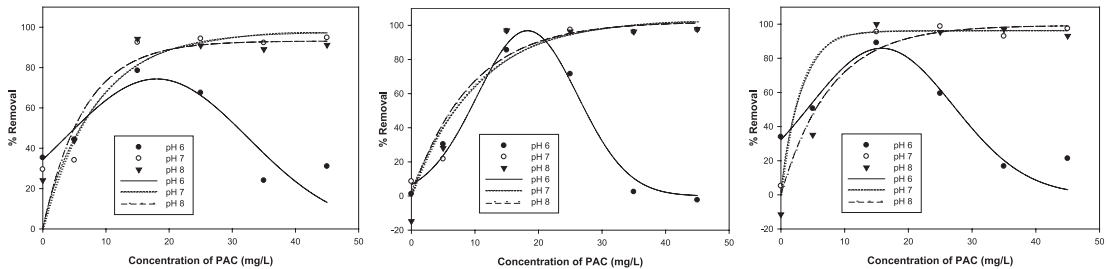


Fig. 4. The effects of water pH on % removals of turbidity(a), *Cryptosporidium* oocysts(b) and *Giardia* cysts(c) according to the PAC concentrations (in low turbidity of 5 NTU and at the room temperature).

를 각각의 응집제 주입량에 대하여 조사하였다(Fig. 5). 실험 대조군으로 실험에 주입한 접종량(I, inoculated protozoa)과 응집제 투여 없이 jar test를 동일하게 수행한 후의 잔류 탁도와 원생동물 농도(응집제 농도 0mg/L)를 함께 조사하여 나타내었다. 응집제 투여 후 pH가 6.5 이상일 경우에는 잔류 탁도가 1 NTU 이하로 낮게 유지되고, 잔류 원생동물도 낮게 유지되었으나, 응집제 농도가 최적농도인 15mg/L 보다 높은 농도로 투여되어 pH 6보다 낮아졌을 때에는 잔류 탁도와 원생동물의 수가 증가하고 응집효율이 크게 저하되는 현상이 나타나, pH 6 이하에서 응집효율이 감소한다는 보고와 일치하였다. 탁도는 실

험한 pH와 PAC 농도범위에서 저탁도 원수 보다 고 탁도 원수에서 더 잘 제거되었는데, 특히 PAC 5mg/L 투여시의 잔류탁도와 잔류 원생동물농도를 비교하면 이러한 특징을 잘 알 수 있다.

크립토스포리디움과 지아디아 (난)포낭의 생존율은 본 실험이 수행된 pH 범위에서 거의 차이가 없는 것으로 보고되어 있다(Jarroll et al., 1981; Sattar et al., 1999). 본 실험에서는 죽은 (난)포낭과 산 (난)포낭 세포 입자 차이의 가능성을 감안하여 살아있는 (난)포낭으로 실험하였다. 그러나 본 연구는 응집침전으로 인한 물리적인 제거 평가에 목적을 두었으므로 응집침전과정에서 발생할 수 있는 크립토스포리디움과

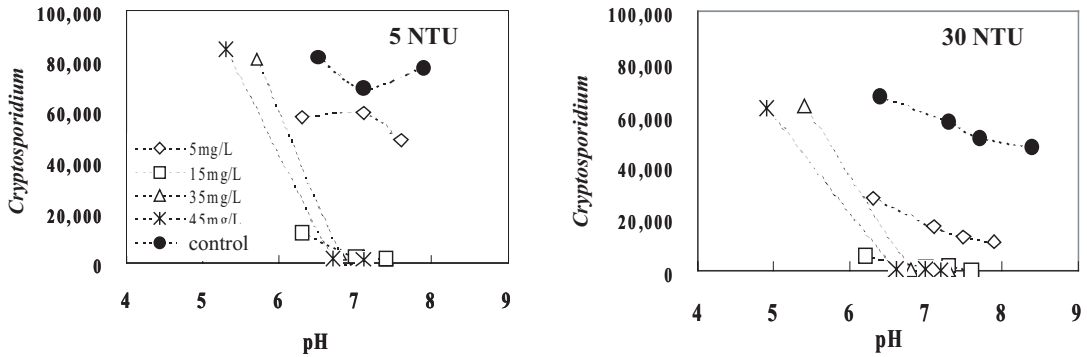


Fig. 5. Residual *Cryptosporidium* oocysts according to the end point pH measured after sedimentation for low and high turbid water.

지아디아 활성의 변화는 측정하지 않았다.

3.3. 탁도 제거율과 원생동물 제거율의 관계

동일 반응기에서 수행된 실험에서 탁도 제거율과 원생동물제거율 간의 관계를 회귀분석으로 구하였다. 동일 조건이어도 다른 반응기에서 수행된 실험일 경우에는 탁도와 원생동물간의 제거율에 대한 회귀분석 결과가 유의하지 않아 동일한 조건으로 설정하여도 jar test간의 오차가 조건변화에 따른 차이보다 클 수 있음을 나타내었다. 탁도 제거율과 원생동물제거율은 log로 환산하였을 때 가장 최적의 관계를 나타내었다(Table 2). 로그 탁도 제거율과 로그로 환산한 크립토스포리디움과 지아디아 두 원생동물의 제거율은 유의한 1차 식(r^2 가 각각 0.87과 0.89)의 관계를 나타내었다. 관계식에서 볼 때, 크립토스포리디움과 지아디아는 탁도 보다 약 1.23-1.26배 높은 수준으로 제거되었다.

각 조건별로 구분하여 탁도 제거율이 원생동물의 제거율을 반영하지 못하는 탁도나 pH 조건을 조사하였다. 탁도의 영향을 보면, 저탁도 시료와 고탁도 시료를 분리하였을 때 r^2 값이 0.95 이상의 수준으로 증가하여, 저탁도와 고탁도 모두에서 로그 탁도 제거율과 로그 원생동물제거율의 유의성이 증가함을 알 수 있다. pH의 영향의 경우에는 중성이상의 pH에서는 전체조건과 유사한 유의한 관계를 유지하였으나, 시료의 pH가 6인 경우는 r^2 값이 0.5 수준으로 하락하여 유의성이 크게 감소하였다.

크립토스포리디움과 지아디아의 관계는 거의 1:1 제거관계로서 전체적으로 $r^2 = 0.93$ 으로 매우 높은 유

의수준을 보였으며, 원수 탁도나 pH 변화에서도 크립토스포리디움 로그 제거율과 지아디아 로그 제거율 변화는 거의 일치하였다.

3.4. 잔류 탁도와 원생동물 제거율의 관계

정수장에서는 정수처리의 효율적 운영의 지표로 잔류 탁도를 사용한다. 원수의 탁도 수준은 원수 특성에 따라서 비교적 일정한 지역도 있고 변이가 큰 지역도 있으나, 원수의 오염물질이 제거되었는지에 대한 지표로 탁도의 제거율보다는 일정 잔류탁도 농도의 달성을 목표로 설정하고 있는 반면, 원생동물은 그 목표를 지아디아 3log, 바이러스 4log, 크립토스포리디움 2log 등과 같이 로그제거율로 지정하고 있어 잔류탁도와 원생동물 로그제거율간의 관계를 분석하였다(Fig. 6). 그 결과, 잔류탁도와 원생동물 로그 제거율간에는 1차 로그식의 유의한 관계가 나타났다. 특히 고탁도 시료에서는 유의성이 증가하였고(Fig. 6, b), 탁도, pH 등의 조건을 포함한 전체 시료에서도 유의한 수준에서의 1차식의 관계를 나타내었다(Fig. 6, c). 한편, 동일한 잔류탁도를 성취하는데 있어서 원생동물의 로그제거율은 최고치와 최저치 간에 약 1-1.5log 정도의 차이를 나타내었다.

결론적으로 혼화응집과정에서는 잔류탁도가 낮을수록 원생동물의 제거율은 증가하므로 잔류탁도를 낮게 유지함으로써 원생동물도 효과적으로 제거할 수 있다고 할 수 있겠다. 그러나 잔류탁도에 대한 원생동물 제거율 차이의 범위는 혼화응집에 의한 원생동물 제거율 범위와 유사한 수준이어서 잔류탁도와 크립토스포리디움/지아디아 제거율간의 정량적인 환산

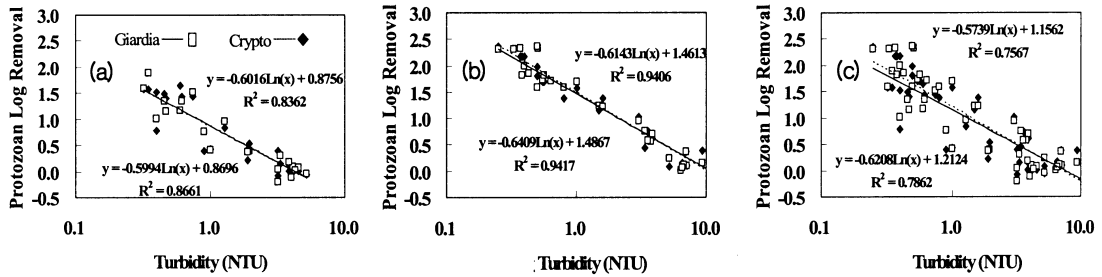


Fig. 6. Relations between residual turbidity and protozoan log removal of low(a) and high(b) turbid water and combined(c) water data.

Table 2. The coefficient(r2) of regression analysis among the log removal of turbidity, Cryptosporidium and Giardia at each condition.

Condition	Regression Coefficients (r ²)			Remark
	Turbidity vs <i>Cryptosporidium</i>	Turbidity vs <i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i> vs <i>Giardia</i>	
Total	0.74	0.73	. ³⁾	(%)
	0.87	0.89	0.93	(Log)
low turbidity ¹⁾	0.98	0.89	-	(%)
	0.98	0.94	0.93	(Log)
high turbidity ²⁾	0.73	0.87	-	(%)
	0.96	0.96	0.96	(Log)
pH 6	0.50	0.34	-	(%)
	0.55	0.55	0.91	(Log)
pH 7	0.81	0.88	-	(%)
	0.89	0.89	0.97	(Log)
pH 8,9	0.89	0.79	-	(%)
	0.89	0.90	0.95	(Log)

¹⁾ 5 NTU; ²⁾ 30 NTU; ³⁾ not estimated

은 매우 넓은 범위의 변이(variation)를 포함하는 것으로 나타났다.

4. 결론

실험실 jar test에서 조사된 혼화응집에 의한 원생동물과 수질지표인 탁도의 제거특성은 다음과 같다.

1. 명시된 jar test의 수행조건에서 원생동물은 적절한 응집제 농도범위에서 일반적으로 1.0log(90%) 이상 제거되었고, 최적의 상태에서는 2log(99%) 이상까지 제거되었다. 그러나 산성(pH 6.0) 조건에서는 제거율이 저하되었다.

2. 혼화응집에 의한 제거는 원수 탁도에 영향을 크게 받았는데, 시료 탁도가 15NTU 이상에서는 낮은 농도의 PAC 응집제 투여량으로도 탁도 및 원생동물

의 제거율이 높게 나타났다. 저탁도 시료(5NTU)에서는 PAC 요구량이 증가하였다.

3. 시료의 pH가 중성 이상에서는 탁도와 원생동물이 양호하게 제거되어, 중성이상 저탁도 시료(pH 7 이상, 5NTU)에서는 PAC 15-45mg/L에서 평균 95% 이상(1.3-1.7log 수준), 중성이상 고탁도 시료에서는 평균 98% 이상(1.6-2.3log 수준) 원생동물이 제거되었다. 산성 저탁도 시료(PH 6, 5NTU)는 PAC 15 mg/L에서 최대 85-89%(0.8-1.0log) 제거되었으나 다른 PAC 농도에서는 제거율이 매우 낮았으며, 산성 고탁도 시료는 동일 PAC 농도에서 최대 92-94%(1.1-1.2log) 제거되었으나 다른 PAC농도에서는 제거율이 낮았다.

4. 잔류 탁도와 원생동물의 로그제거율간의 관계는 유의미한 1차 로그식의 관계가 나타났고 동일한 잔류 탁도 수준을 성취하는데 있어서 원생동물의 로그 제

거울은 최고치와 최저치 간에 약 1-1.5log 정도의 차이가 있었다. 따라서 혼화응집과정에서는 잔류 탁도가 낮을수록 원생동물의 제거율이 증가하여, 잔류 탁도를 효과적으로 제거함으로써 원생동물도 제거할 수 있다고 할 수 있겠다. 그러나 잔류 탁도에 대한 원생동물의 제거 변이(1-1.5log)가 혼화응집에서 나타난 원생동물의 제거율과 유사한 수준이어서 직접적인 관계설정에는 어려움이 있을 것으로 사료되었고 pH 6 이하의 낮은 pH에서는 상관성이 매우 저하되는 현상을 나타내었다.

참고문헌

1. 정현미, 박상정, 정원화, 정영희, 김대균, 박준수, 오상현, 장영진, 김은정 (2002) 정수장의 원생동물 시스템에 연구(I), 국립환경연구원.
2. 환경부 (2002) 정수처리에 관한 기준.
3. Betancourt W.Q., and J.B. Rose (2004) Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*, *Veterinary Parasitology*, **126**(1-2), pp. 219-234.
4. Dugan, N.R., K.R. Fox, J.H. Owens and R.J. Miltner (2001) Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional filtration, *J. AWWA*, **93**, pp. 64-77.
5. Emelko, M.B. (2003) Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual- and Tri-media filtration, **37**(12), pp. 2998-3008.
6. Jarroll, E.M., Bingham, A.K. and Meyer, E.A. (1981) Effect of Chlorine on *Giardia lamblia* Cyst Viability, *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**(2), pp. 483-487.
7. Karaman F.E., Pashley, R.M., Bustamate, H.A., and Shanker, S.R. (1999) Microelectrophoresis of *Cryptosporidium parvum* oocysts in aqueous solutions of various inorganic and surfactant cations. *Colloids Surf. A*, **146**(1-3), pp. 212-221.
8. Ongerth, J.E., and J.P. Pecoraro (1996) Electrophoretic mobility of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts. *J. Environ Eng-ASCE*, **122**(3), pp. 228-231.
9. Rice, E.W., K.R. Fox, D.A. Lytle and C.H. Johnson (1996) Evaluating plant performance with endospores, *J. AWWA*, **88**(9), pp. 122-130.
10. S.A. Sattar, C. Chauret, V.S. Springthorpe, D. Battigelli, Morteza Abbaszadegan, and Mark LeChevallier (1999) *Giardia* Cyst and *Cryptosporidium* Oocyst Survival in Watersheds and Factors Affecting Inactivation [Project #151]. AWWA Research Foundation.
11. USEPA (1989) (June 29) National Primary Drinking Water Regulations, part II: Filtration, Disinfection; Turbidity, *Giardia lamblia*, Viruses, *Legionella*, and Heterotrophic Bacteria. Final Rule, 40 CFR parts 141 and 142. *Fed. Reg.*, **54**(124), pp. 27486-27541.
12. USEPA, 2004(June), Proposed Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, EPA 815-F-03-005.
13. Waite, M. and Jiggins, P., 2000, *Cryptosporidium* in England and Wales. ed by P.R. Hunter et. al. Drinking Water and Infectious Disease, establishing the links. CRC Press.
14. WHO, 2002, Guidelines for drinking water quality 2nd edition. Addendum -Microbiological agents in drinking water.